

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-22880  
(P2002-22880A)

(43) 公開日 平成14年1月23日 (2002.1.23)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコ-ト*(参考)
G 2 1 C 19/06		B 2 1 C 23/00	A 4 E 0 2 9
B 2 1 C 23/00		23/01	Z
23/01		23/21	Z
23/21		G 2 1 C 19/40	B
G 2 1 C 19/40		G 2 1 F 1/08	

審査請求 有 請求項の数21 O L (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-211887(P2000-211887)

(22) 出願日 平成12年7月12日 (2000.7.12)

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 村上 和夫

神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号 三

菱重工業株式会社神戸造船所内

(72) 発明者 小倉 佳穂

神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号 三

菱重工業株式会社神戸造船所内

(74) 代理人 100089118

弁理士 酒井 宏明 (外1名)

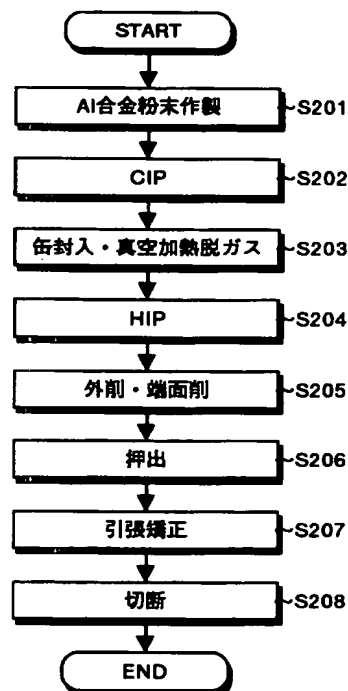
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アルミニウム複合粉末およびその製造方法、アルミニウム複合材料、使用済み燃料貯蔵部材およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 角パイプの効率的な生産を行うこと。

【解決手段】 アルミニウム粉末と中性子吸収材粉末と酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三粒子とを混合し、冷間静水圧成形法 (C I P) により予備成形体を成形する。続いて、予備成形体をキャニングしてから、熱間静水圧成形法 (H I P) により予備成形体を焼結する。焼結後、缶の外削、端面削を行い、ピレットを取り出す。そして、このピレットを押し出して角パイプを成形する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 メカニカルアロイングを用い、アルミニウムマトリックスに対して、前記メカニカルアロイングにより粉碎した中性子吸収材と、酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三粒子とを分散させたことを特徴とするアルミニウム複合粉末。

【請求項2】 前記第三粒子の添加量を、0.1重量%以上30重量%以下としたことを特徴とする請求項1に記載のアルミニウム複合粉末。

【請求項3】 前記アルミニウムマトリックス中における第三粒子の平均粒径を、 $0.01\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下としたことを特徴とする請求項1または2に記載のアルミニウム複合粉末。

【請求項4】 前記中性子吸収材の添加量を、1重量%以上20重量%以下としたことを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載のアルミニウム複合粉末。

【請求項5】 前記添加する粉末状の中性子吸収材の平均粒径を、 $0.01\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下としたことを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載のアルミニウム複合粉末。

【請求項6】 マトリックス材としてのアルミニウム粉末と、中性子吸収材と、酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三粒子とを混合する工程と、当該混合粉末をメカニカルアロイングすることで、アルミニウムマトリックス中に粉碎した前記中性子吸収材および前記第三粒子を分散させる工程と、を含むことを特徴とするアルミニウム複合粉末の製造方法。

【請求項7】 前記アルミニウム粉末の表面に予め酸化皮膜を形成する工程と、メカニカルアロイングすることで前記アルミニウム粉末の表面に形成した酸化皮膜を前記酸化物として複合粉末に混入させる工程と、を含むことを特徴とする請求項6に記載のアルミニウム複合粉末の製造方法。

【請求項8】 アルミニウムマトリックス中に、中性子吸収材と、酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三元素とを含有させたことを特徴とするアルミニウム複合材料。

【請求項9】 前記第三粒子の含有量を、0.1重量%以上30重量%以下としたことを特徴とする請求項8に記載のアルミニウム複合材料。

【請求項10】 前記アルミニウムマトリックス中における第三粒子の平均粒径を、 $0.01\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下としたことを特徴とする請求項8または9に記載のアルミニウム複合材料。

【請求項11】 前記中性子吸収材の含有量を、1重量%以上20重量%以下としたことを特徴とする請求項8～10のいずれか一つに記載のアルミニウム複合材料。

【請求項12】 前記添加する粉末状の中性子吸収材の

平均粒径を、 $0.01\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下としたことを特徴とする請求項8～11のいずれか一つに記載のアルミニウム複合材料。

【請求項13】 使用済み燃料の貯蔵に用いる部材を製造する使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、アルミニウム粉末、中性子吸収材粉末、および酸化物、窒化物、炭化物または硼化物を含む第三元素を混合する工程と、前記混合粉末を予備成形する工程と、前記予備成形体をキャニングする工程と、キャニングした予備成形体を焼結する工程と、を含むことを特徴とする使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項14】 さらに、上記焼結を、ホットプレスまたは熱間静水圧成形法により行うことを特徴とする請求項13に記載の使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項15】 使用済み燃料の貯蔵に用いる部材を製造する使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、アルミニウム粉末、中性子吸収材粉末、および酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三元素を混合する工程と、前記混合粉末を常圧焼結または真空焼結する工程と、を含むことを特徴とする使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項16】 さらに、上記焼結を、真空ホットプレスにより行うことを特徴とする請求項15に記載の使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項17】 使用済み燃料の貯蔵に用いる部材を製造する使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、アルミニウム粉末と中性子吸収材粉末とを混合する工程と、冷間静水圧成形法により予備成形体を成形する工程と、予備成形体を放電焼結する工程と、を含むことを特徴とする使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項18】 前記放電焼結を、放電プラズマ焼結により行うことを特徴とする請求項17に記載の使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項19】 さらに、押出成形により角パイプまたは角パイプを構成する板材を成形する工程を含むことを特徴とする請求項14～18のいずれか一つに記載の使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項20】 さらに、押出成形により使用済み燃料の案内管に挿入する棒体を成形する工程を含むことを特徴とする請求項14～18のいずれか一つに記載の使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項21】 さらに、上記混合に、メカニカルアロイングを用いることを特徴とする請求項14～20のいずれか一つに記載の使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、燃焼を終えた使用済み核燃料集合体を収容、貯蔵するものであってキャスクやラックを構成する使用済み燃料貯蔵部材に使用することができる材料或いはその製造方法であり、また、このような材料により製造した使用済み燃料貯蔵部材に関する。

## 【0002】

【従来の技術】核燃料サイクルの終期にあつて燃焼を終え使用できなくなった核燃料集合体を、使用済み核燃料という。現在、この使用済み核燃料は、再処理するまで貯蔵施設において貯蔵管理されている。たとえば、燃料プールによる貯蔵方式においては、プール内に角パイプを束ねたSUSラックを沈め、この角パイプ内に使用済み燃料集合体を収容することにより、冷却効果、遮蔽効果、未臨界性などの要求を満たしている。

【0003】近年では、ラックを構成する角パイプとして、ステンレス材にボロンを添加したものが用いられ始めている。このような角パイプを用いれば、角パイプの間に配置していた中性子吸収材を省略できるから、角パイプ間の隙間を埋めることができる。このため、プールのピット内に挿入できる角パイプの本数が増えるから、その分、使用済み燃料集合体の収容数を増加させることができる。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】このような角パイプは、キャスク、横型サイロ、プール、ボールドなどの各種貯蔵方式に適用することができるが、ラックを構成するにしてもその生産すべき本数が多いので、角パイプを効率的に生産できる技術が要求されている。また、使用済み燃料集合体から発生する中性子を確実に吸収する必要があるため、角パイプの構造には高い健全性が要求される。

【0005】また、角パイプは、使用済み燃料集合体を貯蔵する際に使用するものであるが、当該角パイプ式のラックの他に平板式のラックが知られており、このような平板式のラックにおいても効率的な生産性および構造の健全性が要求されている。さらに、加圧水型炉（PWR：Pressurized Water Reactor）用の使用済み燃料集合体は、その重量が大きいので、これを収容するラックにはより大きな強度が求められる。この発明は、このような使用済み燃料集合体を収容するための材料やその製造方法、或いは使用済み燃料貯蔵部材に関するものである。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、請求項1にかかるアルミニウム複合粉末は、メカニカルアロイングを用い、アルミニウムマトリックスに対して、前記メカニカルアロイングにより粉碎した中性子吸収材と、酸化物、窒化物、炭化物または硼化物から

なる第三粒子とを分散させたものである。

【0007】アルミニウムマトリックス中に分散された中性子吸収材は、その結晶粒界におけるすべりを阻害し、材料を強化するように作用する。また、酸化物などからなる第三粒子は、アルミニウムマトリックス中に分散することにより、前記結晶粒子のすべりの阻害をより促進することになり、この結果、材料の強度をさらに高くすることができる。なお、この場合、分散した第三粒子の添加量は0.1重量%以上30重量%以下とするのが好ましく（請求項2）、さらに、アルミニウムマトリックス中における第三粒子の平均粒径が、0.01 $\mu$ m以上10 $\mu$ m以下になるように前記第三粒子を添加するのが好ましい（請求項3）。

【0008】続いて、上記アルミニウム複合粉末においては、その中性子吸収材の添加量を1重量%以上20重量%以下とするのが好ましく（請求項4）、さらに、前記添加する粉末状の中性子吸収材の平均粒径を0.01 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下とするのが好ましい（請求項5）。

【0009】また、請求項6にかかるアルミニウム複合粉末の製造方法は、マトリックス材としてのアルミニウム粉末と、中性子吸収材と、酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三粒子とを混合する工程と、当該混合粉末をメカニカルアロイングすることで、アルミニウムマトリックス中に粉碎した前記中性子吸収材および前記第三粒子を分散させる工程と、を含むものである。

【0010】メカニカルアロイングを施すことにより、アルミニウムがつぶされながら折りたたまれ、扁平な形状となる。また、Bなどの中性子吸収材もメカニカルアロイングにより微細に粉碎され、扁平化したアルミニウムマトリックス中に均一分散される。また、最終的には、これら扁平粒子が結合して通常の粒子状になる。これにより、アルミニウムの結晶すべりが阻害され、十分な強度を得ることができるようになるが、この発明では、さらに酸化物などからなる第三粒子を微細に粉碎してアルミニウムマトリックス中に分散させるようにしている。この分散した第三粒子は、前記結晶すべりの阻害を促進するものと考えられる。このようにして製造したアルミニウム複合粉末は、非常に大きな強度を得ることができる。

【0011】また、請求項7にかかるアルミニウム複合粉末の製造方法は、上記アルミニウム複合粉末の製造方法において、前記アルミニウム粉末の表面に予め酸化皮膜を形成する工程と、メカニカルアロイングすることで前記アルミニウム粉末の表面に形成した酸化皮膜を前記酸化物として複合粉末に混入させる工程とを含むようにしたものである。

【0012】第三粒子に酸化物を用いる場合、この酸化物を別に添加するのではなく、アルミニウム粉末の表面に予め酸化皮膜として形成しておき、メカニカルアロイ

ング時において、この酸化皮膜を剥離・粉碎して、第三粒子としてマトリックス中に分散させる。このようにすれば、第三粒子を製作する手間やこれを添加する工程を省略することができ、アルミニウム複合粉末の製造が容易になる。

【0013】また、請求項8にかかるアルミニウム複合材料は、アルミニウムマトリックス中に、中性子吸収材と、酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三元素とを含有させたものである。上記した通り、アルミニウムマトリックス中に微細な中性子吸収材と、第三粒子とを均一に分散させることで、これらがアルミニウム粒界すべりを阻害し、母材の強度を向上させる効果がある。このようなアルミニウムマトリックス粉末を焼結させることにより、材料中に中性子吸収材および第三元素が含有されることになるから、その強度を飛躍的に向上させることができる。なお、前記焼結には、常圧焼結、真空焼結および放電焼結などの各種焼結を含むものとし、さらに焼結の前工程として予備成形を行うことを妨げない。また、このようなアルミニウム複合材料は、使用済み燃料集合体を収容するバスケットに用いることができる。このバスケットは、たとえば角パイプを集合させた構造、あるいは板材を交互に組み合わせさせた構造となる。

【0014】また、上記アルミニウム複合材料では、第三粒子の含有量が0.1重量%以上30重量%以下とするのが好ましく（請求項9）、その平均粒径が0.01 $\mu$ m以上10 $\mu$ m以下であることが好ましい（請求項10）。さらに、前記中性子吸収材の含有量は、1重量%以上20重量%以下とするのが好ましく（請求項11）、この添加する粉末状の中性子吸収材の平均粒径が0.01 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下となるようにすれば、より好適な結果を得ることができるようになる（請求項12）。なお、これらの理由については、下記実施の形態において説明する。

【0015】また、請求項13にかかる使用済み燃料貯蔵部材の製造方法は、使用済み燃料の貯蔵に用いる部材を製造する使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、アルミニウム粉末、中性子吸収材粉末、および酸化物、窒化物、炭化物または硼化物を含む第三元素を混合する工程と、前記複合粉末を予備成形する工程と、前記予備成形体をキャニングする工程と、キャニングした予備成形体を焼結する工程とを含むものである。

【0016】まず、アルミニウム粉末、中性子吸収材粉末および第三粒子を混合して当該混合粉末を予備成形する。予備成形を行うことにより、成形密度のばらつきを少なくできる。続いて、この予備成形体をキャニングし、焼結処理を施す。これにより、使用済み燃料貯蔵部材を成形する前のピレットが完成する。なお、缶内のピレットを取り出すには、缶を外削および端面削を行う。焼結は、ホットプレスや熱間静水圧成形法（HIP: Ho

t Isostatic Press）により行うのが好ましく（請求項14）、この他に擬HIPや常圧焼結法などを用いることもできる。また、使用済み燃料貯蔵部材としては、たとえば、バスケットを構成する角パイプあるいは平板式ラックを構成する板状部材を挙げることができる。

【0017】また、請求項15にかかる使用済み燃料貯蔵部材の製造方法は、使用済み燃料の貯蔵に用いる部材を製造する使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、アルミニウム粉末、中性子吸収材粉末、および酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三元素を混合する工程と、前記複合粉末を常圧焼結または真空焼結する工程とを含むものである。

【0018】このように、上記キャニングを省略して常圧焼結または真空焼結するようにしてもよい。キャニングを省略すれば、常圧焼結または真空焼結した後に外削などの機械加工をせずに済む。このため、ピレットの製造が容易になる。真空焼結には、真空ホットプレスが好適であり（請求項16）、この他に真空擬HIPなどを用いることができる。また、前記焼結を真空ホットプレスにより行うことにより、安価で高品質の使用済み燃料貯蔵部材を製造することができる。

【0019】また、請求項17にかかる使用済み燃料貯蔵部材の製造方法は、使用済み燃料の貯蔵に用いる部材を製造する使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、アルミニウム粉末と中性子吸収材粉末とを混合する工程と、冷間静水圧成形法により予備成形体を成形する工程と、予備成形体を放電焼結する工程とを含むものである。

【0020】予備成形体を放電焼結することにより、通常の焼結に比べて短時間で焼結することができる。このため、使用済み燃料貯蔵部材の製造を効率的に行うことができる。また、キャニングを省略しているため、外削などの機械加工が不要になる分、使用済み燃料貯蔵部材を安価に製造することができるようになる。ここで、前記放電焼結には、放電プラズマ焼結を用いるのが好ましい（請求項18）。放電プラズマ焼結によるエネルギーによりアルミニウムの不動態皮膜が除去されることなどから、良好な焼結を行うことができるからである。また、放電プラズマ焼結の他に熱プラズマ焼結などを用いることもできる。

【0021】また、請求項19にかかる使用済み燃料貯蔵部材の製造方法は、上記使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、さらに、押出成形により角パイプまたは角パイプを構成する板材を成形する工程を含むようにしたものである。また、請求項20にかかる使用済み燃料貯蔵部材の製造方法は、上記使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、さらに、押出成形により使用済み燃料の案内管に挿入する棒体を成形する工程を含むようにしたものである。このように、上記方法により製造したピレットを押し出すことで、使用済み燃料貯蔵部材である

角パイプや棒体を容易に製造することが可能になる（請求項19および20）。なお、角パイプは、押し出しにより直接成形するようにしてもよいし、板材を押し出ししてから溶接成形するようにしてもよい。

【0022】また、請求項21にかかる使用済み燃料貯蔵部材の製造方法は、上記使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、さらに、上記混合に、メカニカルアロイングを用いるようにしたものである。当該メカニカルアロイングとしては、たとえば各種ボールミリングを用いることができる。ボールミリングにより、アルミニウム粉末が次第に折りたたまれ、扁平粒子となる。また、中性子吸収材および第三粒子は、ボールミリングにより粉砕されて初期の平均粒径に比べて相当程度小さくなり、アルミニウムマトリックス中にすり込まれつつ分散する。そして、MA後に前記扁平粒子は、最終的に中性子吸収材および第三粒子を含んだ粒子となる。このようにすれば、中性子吸収材を微細かつ均一に分散させることができ、使用済み燃料貯蔵部材の機械的強度を向上させることができる。

#### 【0023】

【発明の実施の形態】以下、この発明にかかるアルミニウム複合粉末およびその製造方法、アルミニウム複合材料、使用済み燃料貯蔵部材およびその製造方法につき図面を参照しつつ詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

【0024】（実施の形態1）この発明の実施の形態1にかかるアルミニウム複合材では、BまたはB化合物のほかに、酸化物などの第三粒子を添加し、メカニカルアロイングを施すことにより、材料強度の向上を図る。そのためには、まず、アトライタミルの容器内にマトリックス材としてのAlまたはAl合金粉末と、中性子吸収材であるBまたはB化合物の粉末と、酸化物、窒化物、炭化物または硼化物を含む第三粒子とを投入する。

【0025】この場合の第三粒子の添加量は、0.1重量%以上30重量%以下とする。0.1重量%よりも小さいと、強度向上の効果がなく、30重量%よりも大きいと製作した材料の伸びが低下するからである。また、Alマトリックス中における前記第三粒子の平均粒径は、0.01 $\mu$ m以上10 $\mu$ m以下とする。0.01 $\mu$ mより小さいものは、市場において非常に高価であって大量に入手し難いものである。また、10 $\mu$ mより大きいものは、材料の強度向上に寄与しにくいからである。

【0026】つぎに、BまたはB化合物の添加量は、1重量%以上20重量%以下とする。1重量%よりも小さいと中性子吸収能に不足が生じ、20重量%より大きいと材料の伸びおよび靱性が低下するからである。また、BまたはB化合物の平均粒径は、0.01 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下とする。0.01 $\mu$ mより小さいものは高価であり、100 $\mu$ mより大きいものは強度の低下を招くからである。

【0027】また、中性子吸収能を有する元素であれば、BまたはB化合物のほか、Cd、Hf、希土類元素などの中性子吸収断面積の大きなものを用いるようにしてもよい。たとえば沸騰水型炉（BWR：Boiling Water Reactor）の場合には、主にBまたはB化合物が用いられるが、PWRの場合には、Ag-In-Cd合金が用いられる。なお、Ag-In-Cd合金の組成は、Inを15重量%、Cdを5重量%にするのが一般的である。希土類元素には、Eu、Sm、Gdなどの酸化物を用いることができる。

【0028】第三粒子に用いる酸化物としては、たとえばAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZrO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>、MgO、TiO<sub>2</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を挙げることができる。窒化物としてはたとえばSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、BNを用いることができる。また、炭化物にはたとえばSiC、WC、Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>を、硼化物としてはたとえばZrB<sub>2</sub>を用いることができる。なお、用いる第三粒子は、ここに例示したものに限定されず、これ以外のものも必要に応じて適宜選択することができる。

【0029】また、使用し得るAlまたはAl合金粉末は、純アルミニウム地金（JIS1xxx系）、Al-Cu系アルミニウム合金（JIS2xxx系）、Al-Mg系アルミニウム合金（JIS5xxx系）、Al-Mg-Si系アルミニウム合金（JIS6xxx系）、Al-Zn-Mg系アルミニウム合金（JIS7xxx系）、Al-Fe系アルミニウム合金（Fe含有率が1～10重量%）の他にも、たとえばAl-Mn系アルミニウム合金（JIS3xxx系）などがあり、強度、延性、加工性、耐熱性など必要とする特性に応じて選択することが可能である。

【0030】また、これらのAlまたはAl合金には、均一で微細な組織を持つ急冷凝固粉を使用する。この急冷凝固粉を得るための急冷凝固法としては、単ロール法、双ロール法、エアアトマイズやガスアトマイズなどのアトマイズ法といった周知技術を採用できる。このような急冷凝固法によって得られたAl合金粉末には、平均粒径が5～150 $\mu$ mのものを用いるのが好ましい。

【0031】その理由は、平均粒径が5 $\mu$ m未満では微粉のために各粒子が凝集をするので、結局大きな粒子の塊になることとアトマイズ法による製造の限界（微細な粉末だけを分け取る必要があり、粉末製造歩留が極端に悪化して、コストを急増させる）のためであり、平均粒径が150 $\mu$ mを超えると急冷凝固でなくなるなどのアトマイズ法による製造の限界と、微細な添加粒子との均一混合が困難になるといった問題とのためである。最も望ましい平均粒径は50～120 $\mu$ mである。急冷凝固の急冷速度は、10<sup>2</sup>℃/sec以上、望ましくは10<sup>3</sup>℃/sec以上である。

【0032】一方、上記AlまたはAl合金粉末と混合するBまたはB化合物は、特に高速中性子の吸収能が大きいという特徴を有している。なお、本発明で使用可能

な好適なB化合物としては、 $B_4C$ 、 $B_2O_3$  などがあ  
る。なかでも $B_4C$ は、単位量当たりのB含有量が多く  
少量の添加で大きな中性子吸収能を得られる他、非常に  
高い硬度を有するなど構造物への添加粒子として特に好  
適である。

【0033】なお、第三粒子は、酸化物、窒化物、炭化  
物または硼化物から構成されるが、これら以外の粒子を  
含むことを妨げない。たとえば高強度性を付与するため  
の添加元素としてZr、Tiなどを混ぜておくようにし  
てもよい。

【0034】続いて、上記配合割合にて投入した原料粉  
末をアトライタミルによりメカニカルアロイング(M  
A: Mechanical Alloying)する。なお、アトライタミ  
ルの他には、一般的な転動ミルや揺動ミルを用いること  
ができる。MAにより、A1粉末またはA1合金粉末が  
ボールにより押しつぶされ且つ折りたたまれて扁平化す  
る。また、MA処理により、BまたはB化合物および第  
三粒子が微細粉碎されて、A1マトリックス中に均一に  
すり込まれる。また、これらの扁平粒子はMA後にA1  
或いはA1合金および第三粒子を含んだ通常の粒子形状  
になる。

【0035】このように第三粒子を添加し且つMA処理  
を施すことにより、材料強度を飛躍的に向上させること  
ができる。具体的には、通常の混合装置(たとえばクロ  
スロータリーミキサーやVミキサーなど)を用いて混合  
し焼結形成した材料に比べて、その強度を3倍まで向上  
できることが判った。また、高い硬度を有するBまたは  
B化合物を微細かつ均一にマトリックス中に分散し、そ  
れによってBの凝集を防止するようにしているので、押  
出性を向上することができる。このため、押出用のダイ  
スの磨耗低減にも効果がある。

【0036】また、第三粒子の添加にあたっては、A1  
粉末またはA1合金粉末を予め酸化処理してその粒子の  
表面に酸化皮膜を形成し、上記MA工程において当該酸  
化皮膜を微細に粉碎し、A1マトリックス中に分散させ  
るようにしてもよい。A1粉末またはA1合金粉末の酸  
化処理は、原料粉末を大気中で加熱処理することにより  
行う。A1粉末またはA1合金粉末を加熱容器に入れ、  
400℃～500℃で加熱しつつ攪拌する。これを数時  
間行うことにより、A1粉末またはA1合金粉末の表面  
に十分な酸化皮膜を形成することができる。

【0037】(実施の形態2) 図1は、使用済み燃料貯  
蔵部材である角パイプを示す断面図である。この角パイ  
プ1は、断面が正方形をしており、上記実施の形態1に  
て製造したA1合金から構成されている。図2は、図1  
に示した角パイプの製造方法を示すフローチャートであ  
る。まず、上記実施の形態1に示す方法によりA1合金  
粉末を作成する(ステップS201)。

【0038】つぎに、複合粉末をラバーケース内に入れ  
て $10^{-2}$  Torr 程度まで真空引きした後、気密テーブ

により真空封入し、CIP(Cold Isostatic Press)に  
より常温で全方向から均一に高圧をかけ、予備成形を行  
う(ステップS202)。CIPの成形圧力は100MPa～200MPaとする。CIP処理により、粉状体  
の体積は約2割ほど減少し、その予備成形体の直径が6  
00mm、長さが1500mmになる。また、CIPに  
よって全方向から均一に圧力を加えることにより、成形  
密度のばらつきが少ない高密度な成形品を得ることがで  
きる。

10 【0039】続いて、前記予備成形体をアルミニウム缶  
(アルミニウム合金継目無缶: JIS6063)に真空  
封入する。缶内は、 $10^{-4}$  Torr程度まで真空引きし、3  
00℃まで昇温する(ステップS203)。この脱ガス  
工程にて缶内のガス成分および水分を除去する。つぎの  
工程では、真空脱ガスした成形品をHIP(Hot Isosta  
tic Press)により再成形する(ステップS204)。  
HIPの成形条件は、温度400℃～450℃、時間3  
0sec、圧力6000tonとし、成形品の直径が4  
00mmになるようにする。

20 【0040】続いて、缶を除去するために機械加工により  
外削、端面削を施し(ステップS205)、ポートホ  
ール押出機を用いて当該ピレットを熱間押出する(ス  
テップS206)。この場合の押出条件として、加熱温  
度を500℃～520℃、押出速度を5m/minとす  
る。なお、この条件は、Bの含有量により適宜変更す  
る。

【0041】つぎに、押出成形後、引張矯正を施すと共  
に(ステップS207)、非定常部および評価部を切断  
し、製品とする(ステップS208)。完成した角パイ  
プ1は、図1に示すように、断面の一辺が162mm、  
30 内側が151mmの四角形状となる。

【0042】なお、上例では押出機に、圧縮率が高く、  
アルミニウムなどの軟質材の複雑形状押出しに適したポ  
ートホール押出機を用いたが、これに限定されない。た  
とえば、固定または移動マンドレル方式を採用してもよ  
い。また、直接押出しの他、静水圧押出しを行うように  
してもよく、当事者の可能な範囲で適宜選択することが  
できる。さらに、上記HIPを用いることによりニヤネ  
ットシェイプ成形が可能になるが、後に押出し工程があ  
ることに鑑み、これに代えて擬HIPを用いるようにし  
ても十分な精度を確保することができる。具体的には、  
一軸方向に圧縮する金型内に圧力伝達媒体であるセラミ  
ック粒状体を入れ、焼結するものである。この方法によ  
っても、良好な角パイプ1を製造することができる。

【0043】また、上記HIPに代えて、ホットプレス  
を用いることもできる。ホットプレスは、耐熱型を加熱  
して一軸加圧下で焼結する方法である。上記の場合、ホ  
ットプレスは、予備成形体を缶に封入して真空脱ガスし  
た後、400℃～450℃の温度で10sec～30s  
ec加熱し、6000tonの圧力条件下で行う。後に

押出し工程があるから、ホットプレスによっても十分な品質のピレットを製作できるが、ピレットのサイズその他の条件により焼結状態が良くない場合は、HIPを用いるようにすれば良い。ホットプレスの利点は、生産性が良く、安価である点にある。さらに、ホットプレスの他に常圧焼結法を用いる場合もある。また、上記CIPを省略することも可能である。この場合には、ラバーケースに入れる手間などを省くことができるので、角パイプの製造が容易になる。

【0044】（実施の形態3）図3は、この発明の実施の形態3にかかる角パイプ1の製造方法を示すフローチャートである。この角パイプ1の製造方法は、同図に示すように、上記缶封入および真空加熱脱ガス（ステップS203）、HIP（ステップS204）、外削および端面削（ステップS205）に代えて、真空ホットプレスを用いた点に特徴がある（真空ホットプレス工程：S303）。その他の工程は、上記実施の形態2と略同様であるからその説明を省略する（ステップS301～S302、S304～S306）。

【0045】図4は、この角パイプの製造方法に用いる真空ホットプレス装置を示す構成図である。この真空ホットプレス装置10は、ダイ11と、ダイ11の内面に設けたダイリング12と、ベース13と、パンチ14とから構成されている。これらはいずれもグラファイト製である。ダイリング12、ベース13およびパンチ14により構成される成形室内には、CIP工程において製作した予備成形体Pを挿入する。ダイ11の周囲には、加熱用の黒鉛ヒータ15が配置されている。

【0046】また、ダイリング12、ベース13およびパンチ14などは、真空ベッセル16内に収容されている。真空ベッセル16には、真空引き用のポンプ17が取り付けられている。前記パンチ14は、真空ベッセル16の上部に設けた油圧シリンダー18により駆動される。前記ダイ11の内側にダイリング12を設けたのは、加圧後にピレットが抜けやすいようにするためである。なお、ダイ11の内径は直径350mm程度である。また、実際にホットプレスを行う際には、摺動部位に潤滑材を塗布または噴霧するようにする。潤滑材としては、極めて優れた潤滑性能を有するBN（ボロン・ナイトライド）を用いることができる。なお、上記では片押し法を例示しているが、両押し法あるいはフローティング法を用いることもできる。

【0047】真空ホットプレスを行うには、まず、ダイ11内に潤滑材を塗布した後に予備成形体Pを挿入し、その上からパンチ14をセットする。つぎに、真空ベッセル16内を所定圧力まで真空引きすると共に黒鉛ヒータ15により室内を400℃～500℃まで昇温する。また、当該温度帯域は、30分～60分維持するようにし、加圧は200℃程度で開始するようにする。そして、予備成形体Pを加圧焼結後、真空ベッセル16内か

らダイ11ごと取り出して当該ダイ11からピレットBを取り出す。この際、ピレットBを外側から押し出すことになるが、ダイリング12もピレットBと共に多少押し出されて、当該ピレットBが容易に取り出せるように作用する。取り出したピレットBは、つぎの押出工程（ステップS304）にて押し出され、引張矯正（ステップS305）、切断工程（ステップS306）を経て、最終品の角パイプ1となる。

【0048】以上、この角パイプ1の製造方法によれば、キャニングを省略すると共に真空ホットプレスを用いてピレットBを成形するようにしたので、①缶代が節約でき、②缶除去のための切削工程（ステップS205）が不要になると共に、③それに付随する製造工程（ステップS207）を省略することができる。このため、角パイプ1を効率的かつ低コストで製造することができるようになる。

【0049】（実施の形態4）図5は、この発明の実施の形態4にかかる角パイプの製造方法を示すフローチャートである。この角パイプ1の製造方法は、同図に示すように、上記缶封入および真空加熱脱ガス（ステップS203）、HIP（ステップS204）、外削および端面削（ステップS205）に代えて、放電プラズマ焼結を用いた点に特徴がある（放電プラズマ焼結工程：ステップS503）。放電プラズマ焼結は、過渡アーク放電現象の火花放電エネルギーを利用して加圧下で焼結を行うものである。その他の工程は、上記実施の形態1と略同様であるからその説明を省略する（ステップS501～S502、S504～S506）。

【0050】図6は、この角パイプの製造方法に用いる放電プラズマ焼結装置を示す構成図である。この放電プラズマ焼結装置20は、グラファイト製のダイ21と、上部電極および下部電極を兼ねた上下のパンチ22、23と、上下のパンチ22、23にパルス電流を供給する電源24と、電源24を制御する制御部25と、ダイ21およびパンチ22、23を収容する真空ベッセル29と、真空ベッセル29内の真空を引くポンプ26と、パンチ22、23を駆動する油圧シリンダー27、28とから構成される。CIPによる予備成形体Pは、ダイ21およびパンチ22、23により形成した成形室に挿入する。

【0051】放電プラズマ焼結は、焼結エネルギーを制御しやすいこと、取り扱いが容易であることなどの種々の利点があるが、ハイスピードで焼結できる点がこの製造方法において重要である。すなわち、上記ホットプレスでは、たとえば、焼結時間が約5時間かかるのに対し、放電プラズマ焼結では約1時間で済む。このため、高速焼結が可能である分、製造時間を短縮化することができる。

【0052】上記放電プラズマ焼結の条件は、真空ベッセル29内の真空度を $10^{-2}$  Torrとし、約10分で50

0℃まで立ち上げる。そして、この温度領域を10分～30分維持し、5～10tonで加圧する。上下のパンチ22、23間にパルス電流を印加すると、予備成形体P内で放電点が移動し、全体に分散する。火花放電の部分では、局所的に高温状態(1000℃～10000℃)になって粒子間接触部が点から面に成長し、ネックを形成して溶着状態となる。これにより、硬い酸化皮膜を形成するアルミニウム系材料であっても、放電プラズマのスパッタ作用によってアルミニウム表面の酸化皮膜を破壊するから、ビレットを容易に焼結することができる。

【0053】以上、この角パイプ1の製造方法によれば、ホットプレスを用いる場合に比べて焼結時間を短縮化できる。また、放電作用によりアルミニウムの不動体皮膜を破壊するから、焼結を容易に行うことができる。キャニングを省略したことによる利点については、上記実施の形態2の場合と同様である。なお、放電プラズマ焼結の他、熱プラズマ焼結法を用いることもできる。熱プラズマ焼結法は、超高温のプラズマ熱を用いて無加圧焼結を行うものである。さらに、通常の放電焼結により製造することもできる。

【0054】(実施の形態5) つぎに、使用済み燃料集合体を収容するラックは、上記角パイプ式に代えて平板式にすることもできる。図7は、平板式のラックを示す斜視図である。この平板式ラック60では、まず、上記実施の形態2～4の製造方法により製作したビレットを押出すことによって幅が300mm～350mm程度の板状部材61を成形する。続いて、それぞれの板状部材61に複数のスリット62を連設する。そして、この板状部材61をスリット62部分で縦横交互に係合させて格子状断面を形成する。なお、この平板式ラック60の場合、上記角パイプ式に比べて板厚が小さくなるので、A1に分散させるBの量を多めにしておく。この平板式ラックは、キャスクや使用済み燃料プールのラックなどに用いることができる。

【0055】(実施の形態6) 上記実施の形態2～4では、角パイプ1にボロンを分散させることにより中性子吸収能を与え、使用済み燃料集合体が臨界になるのを防止するようにしている。この実施の形態6では、角パイプ1によらず、使用済み燃料集合体からの中性子を吸収する丸棒材を成形する。丸棒材70は、図8に示す使用済み燃料集合体71の制御棒クラスタ案内管72(または計測管)内に挿入する。この丸棒材70を挿入することにより所定の中性子吸収能が確保できるから、角パイプ1に多量のボロンを分散させる必要がなくなる。なお、この丸棒材70の製造には、最終の押出工程におけるダイスの形状が異なるだけであるから、上記実施の形態2～4の製造方法を用いることができる。

【0056】(実施の形態7) つぎに、上記角パイプ1の具体的な使用例について説明する。図9は、キャスク

を示す斜視図である。図10は、図9に示したキャスクの軸方向断面図である。図11は、図9に示したキャスクの径方向断面図である。このキャスク100は、胴本体101のキャビティ102内面をバスケット130の外周形状に合わせて機械加工したものである。

【0057】胴本体101および底板104は、γ線遮蔽機能を有する炭素鋼製の鍛造品である。なお、炭素鋼の代わりにステンレス鋼を用いることもできる。前記胴本体101と底板104は、溶接により結合する。また、耐圧容器としての密閉性能を確保するため、一次蓋110と胴本体101との間には金属ガスケットを設けておく。

【0058】胴本体101と外筒105との間には、水素を多く含有する高分子材料であって中性子遮蔽機能を有するレジン106が充填されている。また、胴本体101と外筒105の間には熱伝導を行う複数の銅製内部フィン107が溶接されており、前記レジン106は、この内部フィン107によって形成される空間に流動状態で注入され、冷却固化される。なお、内部フィン107は、放熱を均一に行うため、熱量の多い部分に高い密度で設けるようにするのが好ましい。また、レジン106と外筒105との間には、数mmの熱膨張しろ108が設けられる。

【0059】蓋部109は、一次蓋110と二次蓋111により構成される。この一次蓋110は、γ線を遮蔽するステンレス鋼または炭素鋼からなる円盤形状である。また、二次蓋111もステンレス鋼製または炭素鋼製の円盤形状であるが、その上面には中性子遮蔽体としてレジン112が封入されている。一次蓋110および二次蓋111は、ステンレス製または炭素鋼製のボルト113によって胴本体101に取り付けられている。さらに、一次蓋110および二次蓋111と胴本体101の間にはそれぞれ金属ガスケットが設けられ、内部の密封性を保持している。また、蓋部109の周囲には、レジン114を封入した補助遮蔽体115が設けられている。

【0060】キャスク本体116の両側には、キャスク100を吊り下げるためのトラニオン117が設けられている。なお、図9では、補助遮蔽体115を設けたものを示したが、キャスク100の搬送時には補助遮蔽材115を取り外して緩衝体118を取り付ける(図10参照)。緩衝体118は、ステンレス鋼材により作成した外筒120内にレッドウッド材などの緩衝材119を組み込んだ構造である。

【0061】バスケット130は、使用済み核燃料集合体を収容するセル131を構成する69本の角パイプ1からなる。当該角パイプ1には、上記実施の形態1～5にかかる製造方法により製造したものをを用いる。図12は、上記角パイプの挿入方法を示す斜視図である。上記工程により製造した角パイプ1は、キャビティ102内



の加工形状に沿って順次挿入される。

【0062】また、図12および図10に示すように、キャビティ102のうちセル数が5個または7個となる角パイプ列の両側には、それぞれダミーパイプ133が挿入されている。このダミーパイプ133は、胴本体101の重量を軽減すると共に胴本体101の厚みを均一化すること、角パイプ1を確実に固定することを目的とする。このダミーパイプ133にもボロン入りアルミニウム合金を用い、上記同様の工程により製作する。なお、このダミーパイプ133は省略することもできる。

【0063】キャスク100に収容する使用済み核燃料集合体は、核分裂性物質および核分裂生成物などを含み、放射線を発生すると共に崩壊熱を伴うため、キャスク100の除熱機能、遮蔽機能および臨界防止機能を貯蔵期間中（60年程度）、確実に維持する必要がある。この実施の形態1にかかるキャスク100では、胴本体101のキャビティ102内を機械加工して角パイプ1で構成したバスケット130の外側を略密着状態（大きな隙間なし）で挿入するようにしており、さらに、胴本体101と外筒105との間に内部フィン107を設けている。このため、燃料棒からの熱は、角パイプ1或いは充填したヘリウムガスを通じて胴本体101に伝導し、主に内部フィン107を通じて外筒105から放出されることになる。

【0064】また、使用済み核燃料集合体から発生するγ線は、炭素鋼あるいはステンレス鋼からなる胴本体101、外筒105、蓋部109などにおいて遮蔽される。また、中性子はレジン106によって遮蔽され、放射線業務従事者に対する被ばく上の影響をなくすようにしている。具体的には、表面線当量率が2mSv/h以下、表面から1mの線量当量率が100μSv/h以下になるような遮蔽機能が得られるように設計する。さらに、セル131を構成する角パイプ1には、ボロン入りのアルミニウム合金を用いているので、中性子を吸収して臨界に達するのを防止することができる。

【0065】さらに、このキャスク100によれば、胴本体101のキャビティ102内を機械加工しバスケット130の外周を構成する角パイプ1を略密着状態で挿入するようにしたので、角パイプとキャビティとの対面

する面積が広くなり、角パイプ1からの熱伝導を良好にできる。また、キャビティ102内の空間領域をなくすることができるから、角パイプ1の収容数が同じであれば、胴本体101をコンパクトかつ軽量にすることができる。逆に、胴本体101の外径を変えない場合、それだけセル数を確保できるから、使用済み核燃料集合体の収納数を増加することができる。具体的に当該キャスク100では、使用済み核燃料集合体の収容数を69体にでき、かつキャスク本体116の外径を2560mm、重量を120tonに抑えることができる。

【0066】（実施の形態8）続いて、上記角パイプの他の使用例について説明する。図13は、PWR用の使用済み燃料プールを示す斜視図である。この使用済み燃料プール200は、上記実施の形態2～4により製造した角パイプ1を複数立設し、その上下部分をサポート板201により支持したラック202を備えている。ラック202は、鉄筋コンクリート製のピット203内に設置されており、当該ピット203内面は、ピット水の漏洩防止のためにステンレス鋼製のライニング204により内張りされている。また、このピット203内は、常時、ホウ酸水により満たされている。この使用済み燃料プール200は、上記角パイプ1を用いて構成しているので、中性子吸収能が高く、かつその構造の健全性を確保できる。このため、使用済み燃料集合体が臨界に達するのを有効に防止することができる。

【0067】

【実施例】上記実施の形態1にかかるアルミニウム複合材料の製造にあたっては、Al粉末としてJISA6N01ものを用い、その平均粒径を70μmとした。B化合物には、平均粒径が9μmのB<sub>4</sub>C粉末を用いた。また、このB<sub>4</sub>C粉末の添加量は、5重量%とした。このB<sub>4</sub>C粒子は、Al合金中に微細に分散することで転位のすべりの障壁となり、強度を向上させる。つぎに、第三粒子の原料粉末には、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、BN、SiC、ZrB<sub>2</sub>を用い、その平均粒径および添加量は、つぎのように設定した。

【0068】

【表1】

材質	平均粒径 (μm)	添加量 (mass%)
Al2O3	0.5	5
Al2O3	5	5
Al2O3	20	5
Al2O3	0.5	0.05
Al2O3	0.5	1
Al2O3	0.5	35
SiC	3	5
BN	3	5
ZrB2	3	5

【0069】また、MAは、つぎのような条件で行っ

た。なお、図14は、下記条件でMA処理したときの、

A1合金を示す模式図である。同図において、符号141はA1、符号142はB4C粒子、符号143は第三粒子を示す。

【0070】

【表2】

回転数	ボール	雰囲気
300RPM	SUJ-2 3/8インチ (17.5kgf)	Ar (0.5l/min)
粉末量	ミル助剤	MA時間
600g/バッチ	19ノール：18cc (30cc/粉末kg)	0.5Hr 1.0Hr 10.0Hr

【0071】このようにして作成したA1合金粉末を10%塩酸で溶解後、未溶解のB4C粒子と第三粒子とを濾過、乾燥して電子顕微鏡で観察し平均粒径を求めた。この結果を以下の表に示す。

【0072】

【表3】

材質	平均粒径 (μm)	添加量 (mass%)	MA後の平均粒径 (μm)
Al203	0.5	5	0.3
Al203	5	5	1
Al203	20	5	13
Al203	0.5	0.05	0.4
Al203	0.5	1	0.3
Al203	0.5	35	0.3
SiC	3	5	1
BN	3	5	0.8
ZrB2	3	5	0.9

【0073】つぎに、上記MAにより製造したA1合金粉末を用いて引張強さ及び破断伸びを測定した。まず、グラファイト型にMA粉末を入れ、真空引きした状態で温度500℃で加圧焼結し、直径40mm、高さ40mmの成形体を作成した。続いて、押し出し比を25とし、直径40mmを直径8mmにまで小さくし、これを棒状の試験片とした。その後、この試験片を200℃で

100時間保持し、冷却後、試験片を試験に適する形状に加工した。引張試験は、200℃の温度条件で行った。その結果をつぎの表に示す。なお、試験片3、4、6、10は比較用の試験片として製作した。

【0074】

【表4】

No	材質	平均粒径 (μm)	添加量 (mass%)	MA後の平均粒径 (μm)	引張強さ (MPa)	破断伸び (%)
1	Al203	0.5	5	0.3	350	5
2	Al203	5	5	1	330	4
3	Al203	20	5	13	260	2
4	Al203	0.5	0.05	0.4	282	6
5	Al203	0.5	1	0.3	300	5.5
6	Al203	0.5	35	0.3	380	1
7	SiC	3	5	1	340	4
8	BN	3	5	0.8	320	5
9	ZrB2	3	5	0.9	335	4.5
10	添加剤なし	—	—	—	280	6

No.3,4,6,10：比較例

【0075】実験の結果、第三粒子を添加した各試験片1、2、5、7、8、9とも、引張強さについて300

MPa以上の高強度を得ることができた。また、破断伸びについても4%以上の好ましい結果を得ることができ

た。これに対して、比較例とした試験片3では、MA後の第三粒子の平均粒径が $13\mu\text{m}$ であって、この場合には十分な引張強さを得ることができないばかりか、第三粒子を添加しない試験片10のそれよりも低い値を示す結果となった。また、試験片3の破断伸びについても2%程度であり、十分なものが得られなかった。試験片4については、第三粒子の添加量を0.05重量%としたが、第三粒子を添加しない試験片10と比べても引張強さおよび破断伸びとも大きな変化はなかった。試験片6については、第三粒子の添加量が35重量%であるため、十分な引張強さを得たにもかかわらず、破断伸びが1%と低い値になってしまった。

【0076】以上から、第三粒子については、 $\text{B}_4\text{C}$ 粒子によるすべり抑制効果を促進する効果があると考えられ、その添加量を0.1重量%以上30重量%以下の範囲とし、 $\text{Al}$ マトリックス中における第三粒子の平均粒径を $0.01\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下にすることで、強度および破断伸びを向上できるということが判った。また、酸化物（試験片1、2、5）に代えて、炭化物（試験片7）、窒化物（試験片8）、硼化物（試験片9）を第三粒子として用いた場合であっても、強度および破断伸びを向上できることが判った。

【0077】

【発明の効果】以上説明したように、この発明にかかるアルミニウム複合粉末（請求項1）では、メカニカルアロイングを用い、アルミニウムマトリックスに対して、中性子吸収材と第三粒子を分散させたから、材料の強度をより大きくすることができる。特に、分散した第三粒子の添加量を0.1重量%以上30重量%以下とすることで好適な結果を得ることができる（請求項2）。また、アルミニウムマトリックス中における第三粒子の平均粒径が $0.01\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下となるように前記第三粒子を添加することで、さらに好適な結果を得ることができる（請求項3）。

【0078】続いて、上記アルミニウム複合粉末においては、その中性子吸収材の添加量を1重量%以上20重量%以下とするのが好ましく（請求項4）、さらに、前記添加する粉末状の中性子吸収材の平均粒径を $0.01\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下とするのが好ましい（請求項5）。このようにすれば、必要な韌性を得ることができると共に強度の低下を防止することができる。

【0079】また、この発明にかかるアルミニウム複合粉末の製造方法（請求項6）では、 $\text{Al}$ 粉末に中性子吸収材を添加し、さらにこれに加えて酸化物などの第三粒子を添加し、これらの粉末をメカニカルアロイングすることによって $\text{Al}$ マトリックス中に中性子吸収材および第三粒子を均一分散したので、非常に大きな強度を得ることができる。

【0080】また、この発明にかかるアルミニウム複合粉末の製造方法（請求項7）では、酸化皮膜をアルミニ

ウム粉末の表面に形成しておき、メカニカルアロイングすることにより、この酸化皮膜を剥離・粉碎してアルミニウムマトリックス中に分散させる。このようにすれば、第三粒子を製造する手間が省けると共に第三粒子の添加工程を省略でき、アルミニウム複合粉末の製造を容易に行うことができる。

【0081】また、この発明にかかるアルミニウム複合材料（請求項8）では、焼結体のアルミニウムマトリックス中に、中性子吸収材と、酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三元素とを含有させたので、高強度の複合材料を得ることができる。特に、第三粒子の含有量が0.1重量%以上30重量%以下になるようにすることで好適な結果を得ることができ（請求項9）、その平均粒径が $0.01\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下となるようにすれば、さらに好適な結果を得ることができる（請求項10）。

【0082】続いて、上記アルミニウム複合材料においては、その中性子吸収材の含有量を1重量%以上20重量%以下とすること（請求項11）、添加する粉末状の中性子吸収材の平均粒径を $0.01\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下とすること（請求項12）により、必要な韌性を得ることができると共に強度の低下を防止することができる。

【0083】また、この発明にかかる使用済み燃料貯蔵部材の製造方法（請求項13）では、アルミニウム粉末、中性子吸収材粉末および第三粒子を混合し、この混合粉末を予備成形体とし、当該予備成形体をキャニングしてから焼結するようにした。このため、高品質かつ高強度の使用済み燃料貯蔵部材を製造することができる。また、前記焼結をホットプレスまたはHIPにより行うことで、さらに高品質かつ高強度の使用済み燃料貯蔵部材を製造することができる（請求項14）。

【0084】また、この発明にかかる使用済み燃料貯蔵部材の製造方法（請求項15）では、キャニングを省略して常圧焼結または真空焼結するようにしたので、外削などの機械加工が不要になり、その分、製造工程を簡略化できる。この結果、使用済み燃料貯蔵部材を極めて安価に製造することができる。また、前記焼結を真空ホットプレスにより行うことにより、安価で高品質の使用済み燃料貯蔵部材を製造することができる（請求項16）。

【0085】また、この発明にかかる使用済み燃料貯蔵部材の製造方法（請求項17）では、予備成形体を放電焼結するようにしたので、短時間で焼結が完了する。このため、製造効率を向上することができる。また、放電焼結として放電プラズマ焼結を用いることにより、焼結性が良くなり、高品質のピレットを低コストで得ることができる（請求項18）。

【0086】また、この発明にかかる使用済み燃料貯蔵部材の製造方法（請求項19および20）では、上記方

法により製造したビレットを押し出すことで、使用済み燃料貯蔵部材である角パイプや棒体を容易に製造することが可能になる。

【0087】また、この発明にかかる使用済み燃料貯蔵部材の製造方法（請求項21）では、メカニカルアロイングを用い、アルミニウム粉末に対して粉碎した中性子吸収材および第三粒子をすり込むように分散させるようにした。このため、焼結時の凝集を防止できるので、これを用いて製造した使用済み燃料貯蔵部材の成分は均質になり、機械的強度を向上できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】角パイプの構成を示す断面図である。

【図2】この発明の実施の形態1にかかる角パイプの製造方法を示すフローチャートである。

【図3】この発明の実施の形態2にかかる角パイプの製造方法を示すフローチャートである。

【図4】この角パイプの製造方法に用いる真空ホットプレス装置の構成を示す図である。

【図5】この発明の実施の形態3にかかる角パイプの製造方法を示すフローチャートである。

【図6】この角パイプの製造方法に用いる放電プラズマ焼結装置の構成を示す図である。

【図7】この発明の実施の形態4にかかる角パイプの製造方法に用いるアトライターミルの構成を示す図である。

【図8】MAにより製造した高エネルギー粉末を示す拡大図である。

【図9】この発明の実施の形態5にかかる製造方法を実

施するための粉末製造装置の概略構成を示す図である。

【図10】図9に示した粉末製造装置により製造した粉末を示す説明図である。

【図11】平板式のラックの構成を示す斜視図である。

【図12】使用済み燃料集合体の構成を示す説明図である。

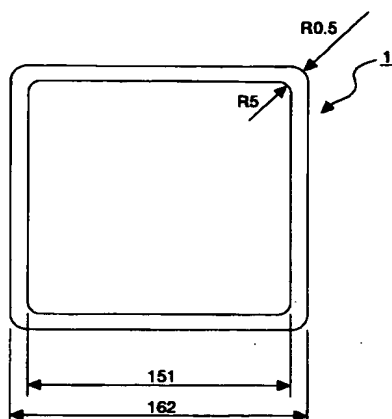
【図13】キャスクの構成を示す斜視図である。

【図14】所定条件でMA処理したときのA1合金を示す模式図である。

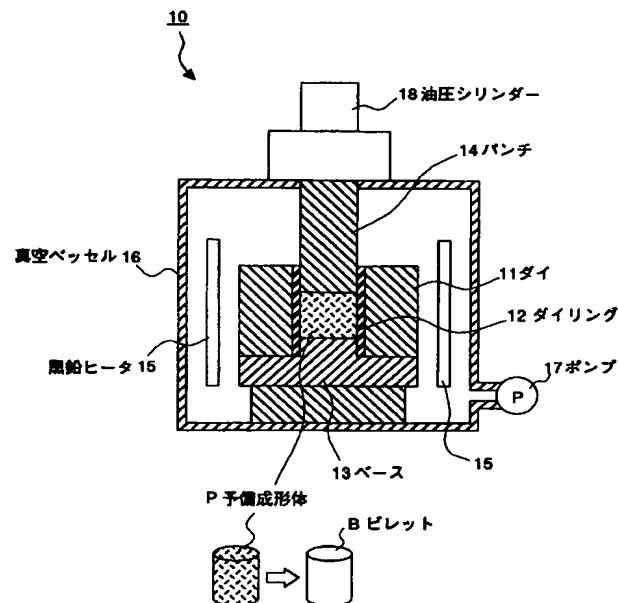
10 【符号の説明】

- 1 角パイプ
- 100 キャスク
- 101 胴本体
- 102 キャビティ
- 104 底板
- 105 外筒
- 106 レジン
- 107 内部フィン
- 108 熱膨張しろ
- 20 109 蓋部
- 110 一次蓋
- 111 二次蓋
- 115 補助遮蔽体
- 116 キャスク本体
- 117 トラニオン
- 118 緩衝体
- 130 バスケット
- 131 セル

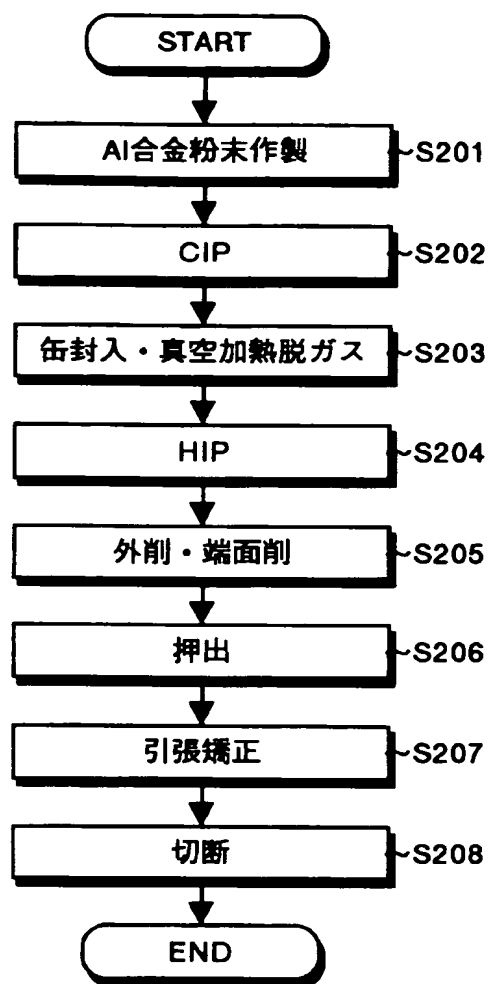
【図1】



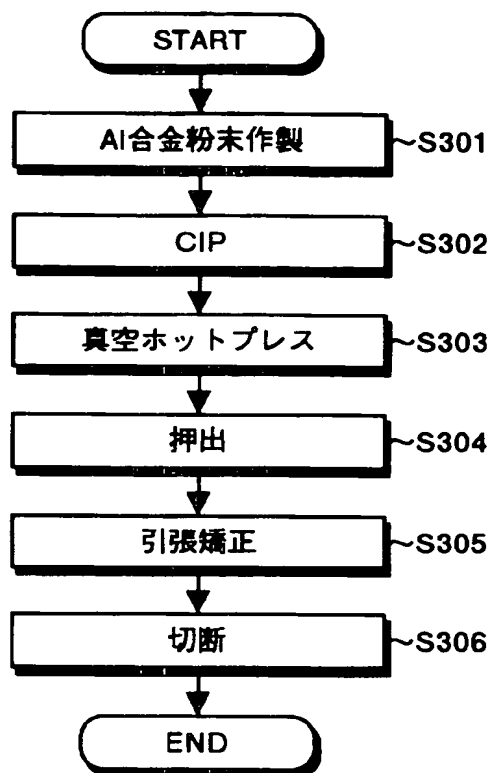
【図4】



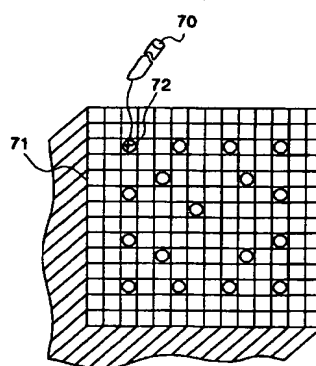
【図2】



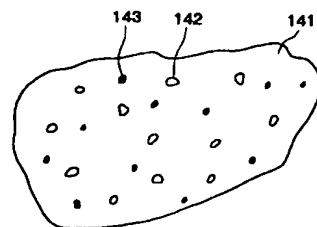
【図3】



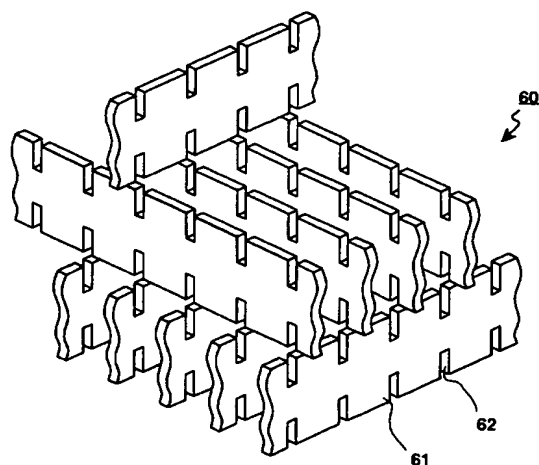
【図8】



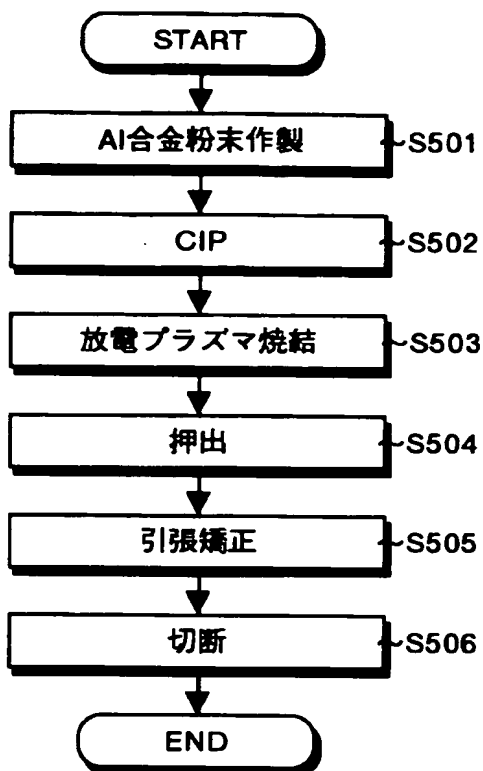
【図14】



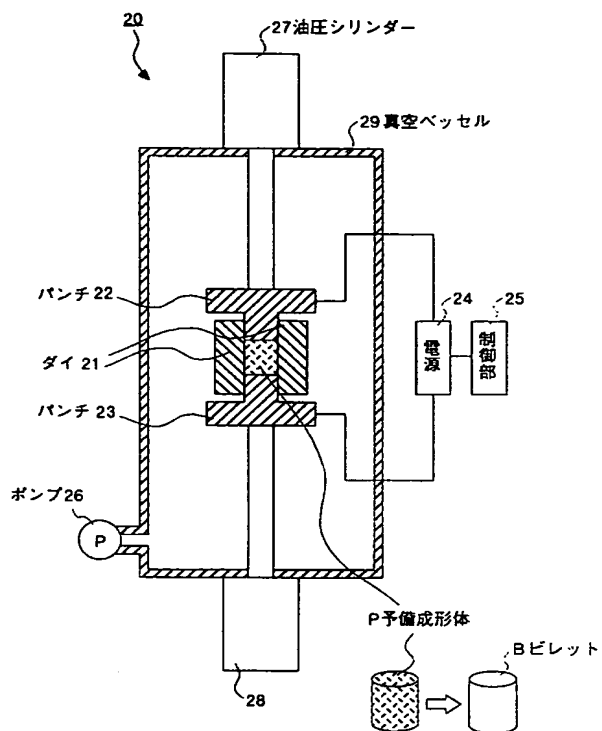
【図7】



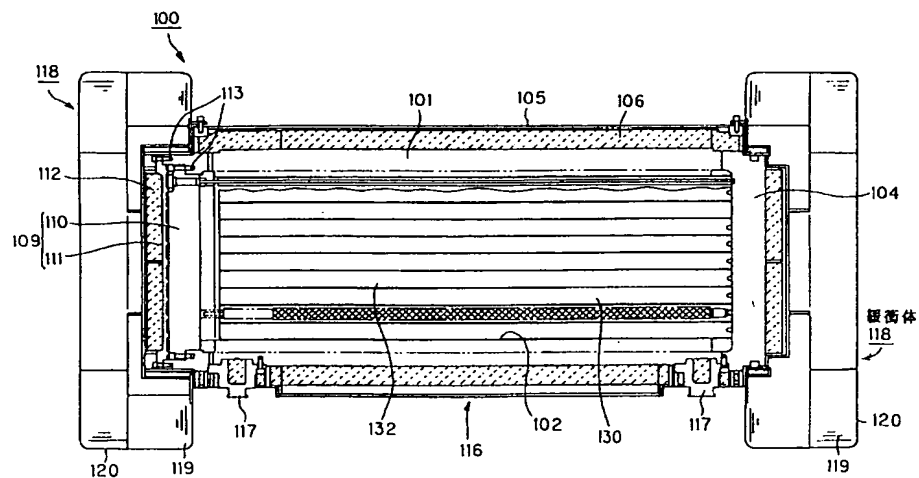
【図5】



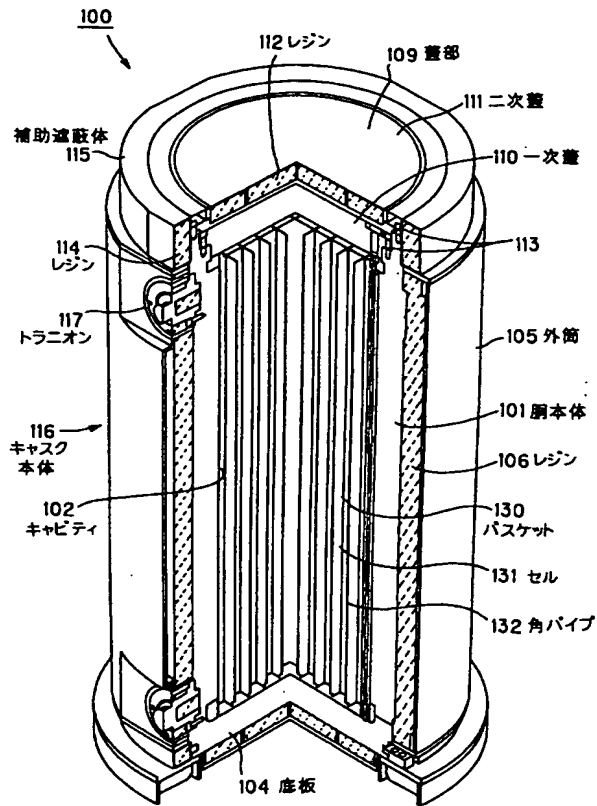
【図6】



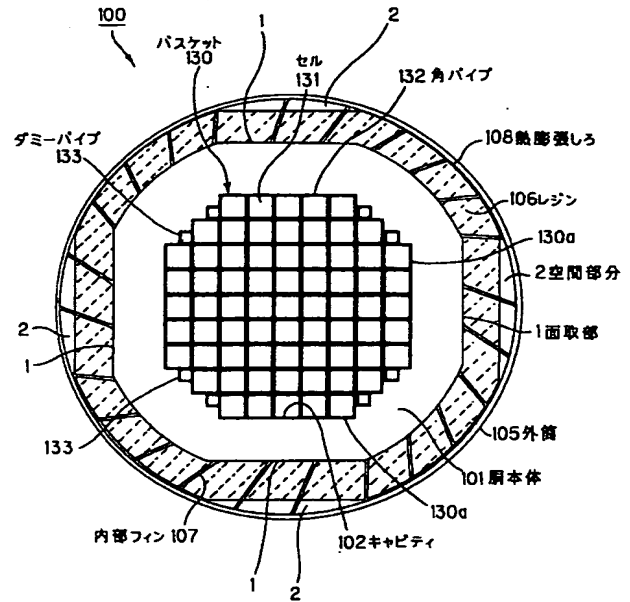
【図10】



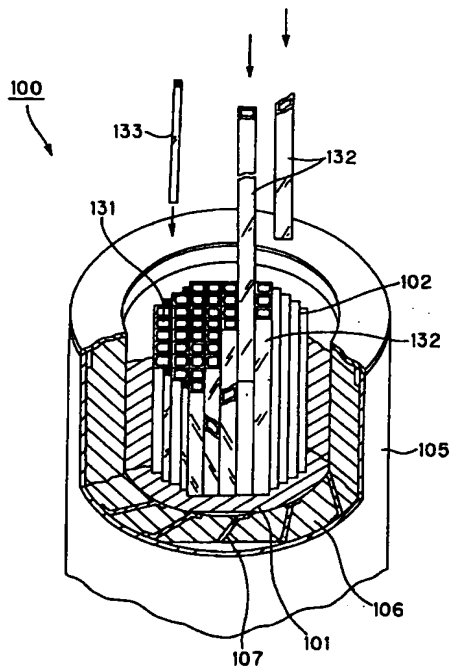
【図9】



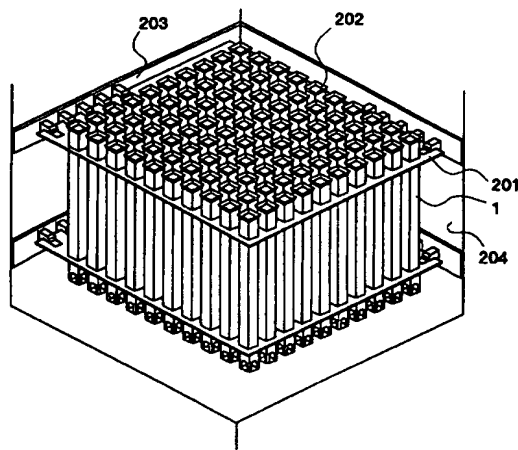
【図11】



【図12】



【図13】



## 【手続補正書】

【提出日】平成13年5月7日（2001. 5. 7）

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 メカニカルアロイングを用い、アルミニウムマトリックスに対して、前記メカニカルアロイングにより粉碎した中性子吸収材と、酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三粒子とを分散させたことを特徴とするアルミニウム複合粉末。

【請求項2】 前記第三粒子の添加量を、0.1重量%以上30重量%以下としたことを特徴とする請求項1に記載のアルミニウム複合粉末。

【請求項3】 前記アルミニウムマトリックス中における第三粒子の平均粒径を、0.01 $\mu$ m以上10 $\mu$ m以下としたことを特徴とする請求項1または2に記載のアルミニウム複合粉末。

【請求項4】 前記中性子吸収材の添加量を、1重量%以上20重量%以下としたことを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載のアルミニウム複合粉末。

【請求項5】 前記添加する粉末状の中性子吸収材の平均粒径を、0.01 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下としたことを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載のアルミニウム複合粉末。

【請求項6】 マトリックス材としてのアルミニウム粉末と、中性子吸収材と、酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三粒子とを混合する工程と、当該混合粉末をメカニカルアロイングすることで、アルミニウムマトリックス中に粉碎した前記中性子吸収材および前記第三粒子を分散させる工程と、を含むことを特徴とするアルミニウム複合粉末の製造方法。

【請求項7】 前記アルミニウム粉末の表面に予め酸化皮膜を形成する工程と、メカニカルアロイングすることで前記アルミニウム粉末の表面に形成した酸化皮膜を前記酸化物として複合粉末に混入させる工程と、を含むことを特徴とする請求項6に記載のアルミニウム複合粉末の製造方法。

【請求項8】 アルミニウムマトリックス中に、中性子吸収材と、酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三粒子とを含有させたことを特徴とするアルミニウム複合材料。

【請求項9】 前記第三粒子の含有量を、0.1重量%以上30重量%以下としたことを特徴とする請求項8に記載のアルミニウム複合材料。

【請求項10】 前記アルミニウムマトリックス中にお

ける第三粒子の平均粒径を、0.01 $\mu$ m以上10 $\mu$ m以下としたことを特徴とする請求項8または9に記載のアルミニウム複合材料。

【請求項11】 前記中性子吸収材の含有量を、1重量%以上20重量%以下としたことを特徴とする請求項8～10のいずれか一つに記載のアルミニウム複合材料。

【請求項12】 前記添加する粉末状の中性子吸収材の平均粒径を、0.01 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下としたことを特徴とする請求項8～11のいずれか一つに記載のアルミニウム複合材料。

【請求項13】 使用済み燃料の貯蔵に用いる部材を製造する使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、アルミニウム粉末、中性子吸収材粉末、および酸化物、窒化物、炭化物または硼化物を含む第三粒子を混合する工程と、前記混合粉末を予備成形する工程と、前記予備成形体をキャニングする工程と、キャニングした予備成形体を焼結する工程と、を含むことを特徴とする使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項14】 さらに、上記焼結を、ホットプレスまたは熱間静水圧成形法により行うことを特徴とする請求項13に記載の使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項15】 使用済み燃料の貯蔵に用いる部材を製造する使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、アルミニウム粉末、中性子吸収材粉末、および酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三粒子を混合する工程と、前記混合粉末を常圧焼結または真空焼結する工程と、を含むことを特徴とする使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項16】 さらに、上記焼結を、真空ホットプレスにより行うことを特徴とする請求項15に記載の使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項17】 使用済み燃料の貯蔵に用いる部材を製造する使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、アルミニウム粉末と中性子吸収材粉末とを混合する工程と、冷間静水圧成形法により予備成形体を成形する工程と、予備成形体を放電焼結する工程と、を含むことを特徴とする使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項18】 前記放電焼結を、放電プラズマ焼結により行うことを特徴とする請求項17に記載の使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項19】 さらに、押出成形により角パイプまたは角パイプを構成する板材を成形する工程を含むことを特徴とする請求項14～18のいずれか一つに記載の使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。



【請求項20】 さらに、押出成形により使用済み燃料の案内管に挿入する棒体を成形する工程を含むことを特徴とする請求項14～18のいずれか一つに記載の使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【請求項21】 さらに、上記混合に、メカニカルアロイングを用いることを特徴とする請求項14～20のいずれか一つに記載の使用済み燃料貯蔵部材の製造方法。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正内容】

【0013】また、請求項8にかかるアルミニウム複合材料は、アルミニウムマトリックス中に、中性子吸収材と、酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三粒子とを含有させたものである。上記した通り、アルミニウムマトリックス中に微細な中性子吸収材と、第三粒子とを均一に分散させることで、これらがアルミニウム粒界すべりを阻害し、母材の強度を向上させる効果がある。このようなアルミニウムマトリックス粉末を焼結させることにより、材料中に中性子吸収材および第三元素が含有されることになるから、その強度を飛躍的に向上させることができる。なお、前記焼結には、常圧焼結、真空焼結および放電焼結などの各種焼結を含むものとし、さらに焼結の前工程として予備成形を行うことを妨げない。また、このようなアルミニウム複合材料は、使用済み燃料集合体を収容するバスケットに用いることができる。このバスケットは、たとえば角パイプを集合させた構造、あるいは板材を交互に組み合わせさせた構造となる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】変更

【補正内容】

【0015】また、請求項13にかかる使用済み燃料貯蔵部材の製造方法は、使用済み燃料の貯蔵に用いる部材を製造する使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、アルミニウム粉末、中性子吸収材粉末、および酸化物、窒化物、炭化物または硼化物を含む第三粒子を混合する工程と、前記複合粉末を予備成形する工程と、前記予備成形体をキャニングする工程と、キャニングした予備成形体を焼結する工程とを含むものである。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0017

【補正方法】変更

【補正内容】

【0017】また、請求項15にかかる使用済み燃料貯蔵部材の製造方法は、使用済み燃料の貯蔵に用いる部材

を製造する使用済み燃料貯蔵部材の製造方法において、アルミニウム粉末、中性子吸収材粉末、および酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三粒子を混合する工程と、前記複合粉末を常圧焼結または真空焼結する工程とを含むものである。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0081

【補正方法】変更

【補正内容】

【0081】また、この発明にかかるアルミニウム複合材料（請求項8）では、焼結体のアルミニウムマトリックス中に、中性子吸収材と、酸化物、窒化物、炭化物または硼化物からなる第三粒子とを含有させたので、高強度の複合材料を得ることができる。特に、第三粒子の含有量が0.1重量%以上30重量%以下になるようにすることで好適な結果を得ることができ（請求項9）、その平均粒径が0.01μm以上10μm以下となるようにすれば、さらに好適な結果を得ることができる（請求項10）。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図面の簡単な説明

【補正方法】変更

【補正内容】

【図面の簡単な説明】

【図1】使用済み燃料貯蔵部材である角パイプを示す断面図である。

【図2】図1に示した角パイプの製造方法を示すフローチャートである。

【図3】この発明の実施の形態3にかかる角パイプの製造方法を示すフローチャートである。

【図4】この角パイプの製造方法に用いる真空ホットプレス装置を示す構成図である。

【図5】この発明の実施の形態4にかかる角パイプの製造方法を示すフローチャートである。

【図6】この角パイプの製造方法に用いる放電プラズマ焼結装置を示す構成図である。

【図7】平板式のラックを示す斜視図である。

【図8】丸棒材を使用済み燃料集合体の制御棒クラスター案内管内へ挿入する状態を示す説明図である。

【図9】キヤスクを示す斜視図である。

【図10】図9に示したキヤスクの軸方向断面図である。

【図11】図9に示したキヤスクの径方向断面図である。

【図12】上記角パイプの挿入方法を示す斜視図である。

【図13】PWR用の使用済み燃料プールを示す斜視図である。

【図14】所定条件でMA処理したときのA1合金を示す模式図である。

フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	タームコード (参考)	
G 2 1 F	1/08	G 2 1 F	9/36	5 0 1 A
	5/012	G 2 1 C	19/06	U
	5/008	G 2 1 F	5/00	J
	9/36			F
	5 0 1			
(72) 発明者 安井 豊明		F ターム (参考)	4E029 AA06 AA07 AB01 BA01 HD01	
広島市西区観音新町四丁目6番22号 三菱			HD04	
重工業株式会社広島研究所内				